

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СЧЕТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА КАПЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Канд. техн. наук, доц. БРАТУТА Э. Г., инж. ЗАНОЧКИН Л. А.

*Харьковский ордена Ленина политехнический институт
имени В. И. Ленина*

Одной из наиболее важных исходных характеристик при разработке математической модели процесса тепло- и массообмена применительно к полидисперсным капельным потокам является, как известно, функция распределения капель по диаметрам, устанавливаемая экспериментально.

Практически все известные методы определения размеров капель, включая и счетно-импульсный [1, 2], относятся к числу локальных методов измерения. Это связано с тем, что для определения функции распределения, характеризующей все множество капель в рассматриваемом сечении факела или аппарата, возникает необходимость в разработке соответствующей методики использования результатов локальных измерений. Впервые такая методика определения приведенного дисперсного состава капель была предложена в [3] и вполне оправдала себя применительно к распылителям малой производительности.

Однако при исследовании гранулометрического состава в крупногабаритных факелах распыла, используемых в брызгальных градирнях и бассейнах ТЭС и АЭС, когда протяженность капельного потока составляет более 10 метров, а высота поперечных сечений достигает 2—3 метра, использование методики [3] связано с большой трудоемкостью как измерений, так и последующих расчетов.

В связи с этим нами был разработан новый метод определения функции распределения капель по диаметрам в заданном сечении потока, исключающий отмеченные недостатки.

Идея метода состоит в следующем. Датчик, включающий несколько пар соосных электродов, на которые подается разность потенциалов, перемещается с постоянной скоростью W в плоскости исследуемого сечения факела или контактного аппарата. Каждая пара электродов (с соответствующим зазором S между их остриями) подсоединяется к своему счетчику импульсов, роль которого выполняет электронный частотомер, регистрирующий и суммирующий число замыканий каплями концов электродов на всем пути движения датчика. Таким образом, представляется возможным получить зависимость частоты замыканий h от величины зазора S , что, как известно [1, 2], является достаточной информацией для определения функции распределения капель по диаметрам.

Выделим вдоль оси x , соответствующей направлению движения датчика по сечению исследуемого потока, полосу единичной ширины, которую в свою очередь разобьем на ряд квадратов. Тогда, если в каждом квадрате межэлектродный зазор находится некоторое время, равное $\tau = W^{-1}$, и локальный поток капель характеризуется функцией распределения количества капель по диаметрам $\varphi(D, x)$, величина $\varphi(D, x)W^{-1}$ будет соответствовать числу центров капель, прошедших за время W^{-1} через единицу площади этого квадрата.

В соответствии с теорией счетно-импульсного метода [1, 2], электронной аппаратурой могут быть зарегистрированы только те капли, центры которых пройдут через область с величиной площади, равной $K(S, D)$. Предполагается, что в пределах каждого квадрата пролетающие центры капель образуют пуассоновское поле, а капельный поток в целом обладает эргодическими, стационарными свойствами.

Поэтому, если межэлектродный зазор датчика находится в условном квадрате некоторое время W^{-1} , количество электрических импульсов, зарегистрированных электронной аппаратурой в связи с касанием каплями i -го диаметра концов электродов, равно

$$W^{-1}K(S, D)\varphi(D_i, x), \quad (1)$$

где D_i — диаметр капли.

При перемещении датчика с постоянной скоростью вдоль сечения потока от квадрата к квадрату сумма всех зарегистрированных импульсов для произвольного диаметра капель D_i равна

$$W^{-1}K(S, D) \sum_{x=1}^n \varphi(D_i, x), \quad (2)$$

где n — число условных квадратов, на которые разбита полоса единичной ширины.

Последний множитель выражения определяет число центров капель диаметра D_i , пролетевших за единицу времени через площадь единичной ширины и длиной, равной значению величины линейного перемещения датчика, т. е. функцию распределения количества капель по диаметрам $f(D)$ в сечении потока капель.

Следовательно, количество зарегистрированных импульсов (в дальнейшем частота замыканий), соответствующее всем актам касания капель на пути движения датчика, может быть представлено в виде

$$h(S, W) = W^{-1} \int_S^{\infty} K(S, D) f(D) dD. \quad (3)$$

Из интегрального уравнения (3) следует, что величина $h(S, W)$ обратно пропорциональна скорости перемещения датчика W , от выбора которой зависит уровень статистической представительности измерений, с одной стороны, и оперативность проведения опытов, с другой. В связи с этим максимальная величина W выбирается таким образом, чтобы экспериментальные значения $h(S, W)$ обладали устойчивой повторяемостью.

Для реализации предлагаемого метода был создан механизм линейного перемещения датчика, который позволял устанавливать скорость 2 или 5 мм/с при протяженности перемещения 2,5 метра.

Конструкция непосредственно датчика была аналогична ранее использованной [4], с тем лишь отличием, что, как уже отмечалось, каждая из пяти пар электродов подключалась к своему частотомеру. Лабораторная отработка метода проводилась в процессе исследования гранулометрического состава капель в факеле, продуцируемом форсунками большой производительности, применяемыми в брызгальных системах охлаждения циркуляционной воды ТЭС и АЭС. При этом высота факелов (при подаче воды снизу вверх) составляла до 2,6 м при дальнобойности более семи метров.

В результате проведения большого количества измерений дисперсного состава в различных сечениях факела было установлено, что с достаточной степенью точности экспериментально полученная зависимость $h(S, W)$ может быть аппроксимирована выражением вида

$$h(S, W) = A(W) \exp(-\alpha S), \quad (4)$$

где $A(W)$ и α — величины, определяемые из графика зависимости $h(S, W)$.

Типичные зависимости $h(S, W)$, полученные при двух значениях ско-

рости перемещения датчика, показаны на рис. 1. Видно, что увеличение скорости перемещения датчика приводит к большим значениям величин разброса опытных точек относительно аппроксимирующей кривой, т. е. к снижению точности определения параметра дисперсного состава α .

В связи с этим целесообразно уменьшать величину W с тем, чтобы опытные значения имели устойчивую повторяемость. Однако при этом оперативность метода, естественно, снижается. Это противоречие необходимо разрешать опытным путем, исходя из конкретных условий и требований эксперимента. Так, при достаточно больших объектах исследования рационально применять несколько параллельно подключенных между собой датчиков, что приведет к пропорциональному увеличению частоты замыканий и, как следствие, к повышению точности измерений.

С использованием (4) уравнение (3) можно записать

$$B(W) \exp(-\alpha S) = \int_S^{\infty} K(S, D) f(D) dD, \quad (5)$$

где $B(W) = A(W)W$ — величина, постоянная для заданного сечения капельного потока.

В соответствии с [5] решение интегрального уравнения (5) имеет вид

$$f(D) = 2\pi^{-1} B(W) \alpha^3 K_1(\alpha D). \quad (6)$$

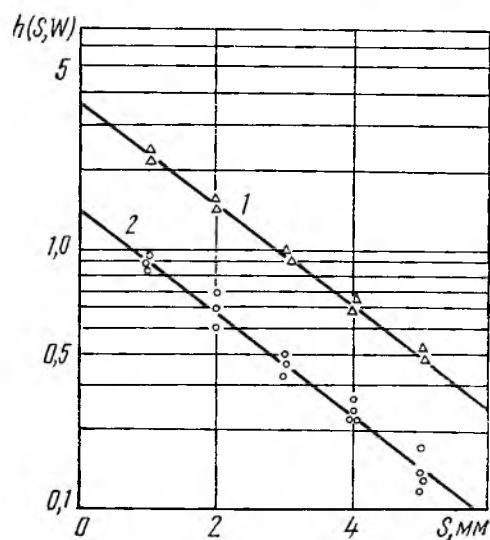


Рис. 1 Частота замыканий $h(S, W)$ в функции величины зазора S между электродами датчика. Скорость перемещения датчика:

1 — $W=2$ мм/с; 2 — 5

На основании уравнения (6) распределение объема капель по диаметрам, проходящих в единицу времени через полосу единичной ширины сечения капельного потока, находится как

$$V(D) = 3^{-1} B(W) \alpha^3 D^3 K_1(\alpha D), \quad (7)$$

а плотность вероятности распределения объема капель по диаметрам —

$$V(D) = 2(3\pi)^{-1} \alpha^4 D^3 K_1(\alpha D), \quad (8)$$

где $K_1(\alpha D)$ — функция Бесселя первого порядка.

Интегрирование уравнения (7) позволяет определить объемный расход капельного потока g через площадь единичной ширины с длиной, равной величине перемещения датчика. При этом

$$g = \pi(2\alpha)^{-1} B(W). \quad (9)$$

С помощью уравнения (6) можно определить суммарную площадь поверхности Γ капель, проходящих за единицу времени через указанную единичную площадь,

$$F = \pi \int_0^{\infty} D^2 f(D) dD = 4B(W). \quad (10)$$

Таким образом, множитель $B(W)$ в левой части интегрального уравнения (5) пропорционален величине площади поверхности исследуемого капельного потока, а параметр α функции распределения (6) опреде-

ляется из отношения площади поверхности капель к их объемному расходу, т. е. по удельной поверхности капельного потока \bar{F} . Тогда

$$\bar{F} = Fg^{-1} = 8\pi^{-1}\alpha. \quad (11)$$

В качестве иллюстрации применения метода на рис. 2 показаны некоторые результаты исследования дисперсного состава в факеле центробежной форсунки ИГИ — «Укрэнергочермет», получившей применение в градирнях брызгального типа. Диаметр сопла форсунки равен 25 мм, камеры закручивания — 140 мм, а ее геометрическая характеристика равна 1,56. На рисунке показаны зависимости модального диаметра D_m функции распределения объемов капель по диаметру (8) в различных сечениях факела при варьируемых перепадах давления воды на форсунке.

В [6] было установлено, что отличие суммарной поверхности капель, определенной с помощью счетно-импульсного метода первой модификации и методом улавливания капель на иммерсионный слой, составило не более 12 %.

Так как физические и математические основы первой и второй модификаций счетно-импульсного метода одинаковы, а определение приведенной функции распределения в соответствии со второй модификацией исключает необходимость в измерении локального расхода (а вместе с этим и дополнительной погрешности, связанной с этим измерением), очевидно, что предлагаемая методика определения дисперсного состава имеет более высокую точность.

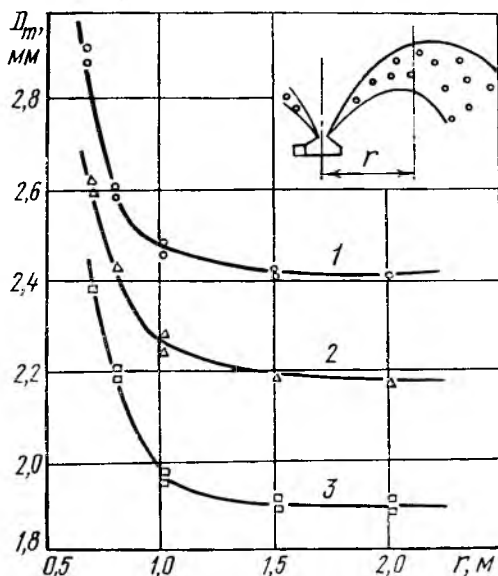


Рис. 2. Значения модального диаметра D_m в сечении факела в функции расстояния от оси форсунки r . Перепад давления на форсунке: 1 — $\Delta p = 39$ кПа, 2 — 59, 3 — 98

ЛИТЕРАТУРА

1. Викс М., Даклер А. Новый метод измерения распределения размеров капель электропроводной жидкости в двухфазном потоке. — В кн.: Достижения в области теплообмена — М Мир, 1970, с 171—187.
2. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Счетно-импульсный метод для исследования распределения капель по размерам в дисперсных потоках. — В сб: Энергетическое машиностроение Харьков. Изд ХГУ, 1973. Вып. 16, с. 72—78.
3. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Определение приведенного дисперсного состава капель по результатам локальных измерений. — Изв. вузов СССР — Энергетика, 1975, № 9, с. 76—79.
4. А. с. 466431 (СССР) Устройства для измерения размеров капель / Э. Г. Братута, А. Р. Переселков — Оpubл. в Б. И., 1975, № 13.
5. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Расчет функции распределения капель по размерам при использовании счетно-импульсного метода. — ИФЖ, 1974, т. XXVII, № 5, с. 923—924.
6. Переселков А. Р. Исследование структуры дисперсного потока в теплообменном аппарате контактного типа с помощью счетно-импульсного метода. — Автореф. дис. ... канд техн. наук. — Харьков, 1975, с. 24.